

OOP 21887

38

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 3744631 A1

⑤ Int. Cl. 4:  
G01M 17/00

⑳ Aktenzeichen: P 37 44 631.2  
㉔ Anmeldetag: 31. 12. 87  
㉕ Offenlegungstag: 13. 7. 89

DE 3744631 A1

㉑ Anmelder:  
Klinger, Friedrich, Prof. Dr.-Ing., 6600 Saarbrücken,  
DE

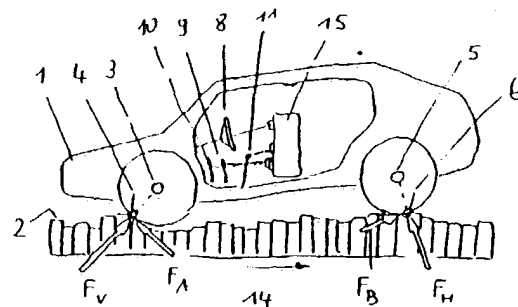
㉒ Vertreter:  
Köster, H., Dipl.-Ing.; Hanke, H., Dipl.-Ing.  
Dipl.-Wirtsch.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

㉓ Erfinder:  
gleich Anmelder

㉔ Verfahren und Vorrichtung zur Durchführung von Lebensdaueruntersuchungen an Fahrzeugen

Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung insbesondere zur Simulation von Betriebsbeanspruchungen an Fahrzeugen und Fahrwerken durch Vorgabe der zeitlichen Anregungsfunktionen durch Fahrbahnoberflächen und Fahrmanöver wird vorgeschlagen, daß die Fahrmanöver wie Beschleunigen, Bremsen, Geschwindigkeitwählen, Kurvenfahrt einerseits und die Erregung der schwingungsfähigen Fahrzeugstruktur durch Unebenheiten der Straßenoberfläche andererseits auf einem Prüfstand getrennt voneinander eingeleitet werden, daß diese getrennt gemessenen Anregungsfunktionen für unterschiedlich harte Prüfungen beliebig gemischt werden können, daß dieselben Anregungsfunktionen auf unterschiedliche Fahrzeuge angewendet werden können, daß bei unterschiedlichen Fahrzeugen durch verschiedene Übertragungsfunktionen zwischen den Erregerstellen und den interessierenden Fahrzeugpunkten an diesen Punkten auch verschiedene Beanspruchungen von selbst wie im Fahrbetrieb auftreten, ohne daß diese Antwortfunktionen wie Dehnungen, Schwingwege, Beschleunigungskräfte oder Verformungen an diesen Fahrzeugpunkten für unterschiedliche Anregungen oder Fahrzeuge gemessen und durch Weg- oder Kraftsimulatoren reproduziert werden müssen.

Fig. 1



DE 3744631 A1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren und eine Vorrichtung, mit der Lebensdaueruntersuchungen an Fahrzeugen aller Art durchgeführt werden können. Insbesondere sind Betriebsfestigkeitsprüfungen von Fahrwerken und Aufbauten, Verschleißuntersuchungen und Funktionsprüfungen sowie Fahrkomfortanalysen denkbar.

Solche Untersuchungen werden entweder bei Fahrversuchen oder auf ortsfesten Prüfständen durchgeführt. Fahrversuche mit Kraftfahrzeugen oder muskelkraftgetriebenen Fahrzeugen auf Straßen bringen Nachteile mit sich:

- bei höherer Geschwindigkeit sind sie gefährlich,
- sie sind schwer reproduzierbar,
- durch Unfälle können wertvolle Prototypen verloren gehen,
- sie sind sehr kostspielig.

Es wurden daher eine Reihe verschiedener ortsfester Prüfstände entwickelt z. B.

- Bremsprüfstände,
- Leistungsprüfstände,
- Betriebsfestigkeitsprüfstände.

Ein ortsfester Bremsenprüfstand ist zum Beispiel in DT 16 98 157 C 3 beschrieben. Mit ihm lassen sich die Fahrzustände auf der Straße weitgehend wirklichkeitsnah simulieren, wobei die Fahrzeugräder auf angetriebenen Rollen abgestützt werden und der Schwerpunkt des Fahrzeuges in Längsrichtung fixiert bleibt, in allen anderen Freiheitsgraden aber beweglich bleibt. Mit solchen Prüfständen lassen sich Brems- und Fahrmanöver simulieren.

Die Hauptbeanspruchungen im Fahrwerk entstehen jedoch durch dynamische Radlastschwankungen beim Überfahren von unebenen Fahrbahnen. Zur Simulation unebener Fahrbahnen sind Rollen mit Fahrbahnprofilen versehen worden, die jedoch nicht die notwendige statistische Verteilung der Belastungen gewährleisten können, weil sich die Profile dem Trommelumfang entsprechend nach wenigen Metern wiederholen.

Auch sind Prüfstände vorgeschlagen worden, bei denen angetriebene Rollen oder Bänder mit Hilfe von hydraulischen Zylindern bewegt werden können, um vertikale Betriebsbeanspruchungen über die Räder einzuleiten. Ein solcher Prüfstand ist in DE 30 40 355 A1 beschrieben. Dieser Prüfstand hat zur Aufgabe, möglichst realistische Betriebsfestigkeitsprüfungen von Fahrzeugen dadurch zu ermöglichen, daß jedes Rad auf einem Band abrollt, dessen Lage im Raum durch mehrere hydraulische Zylinder unabhängig von der Lage der anderen Bänder frei definiert werden kann. Dieser Prüfstand läßt statische und niederfrequente dynamische Radlastschwankungen zu. Die beim schnellen Überfahren von Schlaglöchern auftretenden dynamischen vertikalen Fahrwerksbeanspruchungen, insbesondere die dabei auftretenden Horizontalkomponenten lassen sich jedoch auf diesem Prüfstand nicht nachbilden.

Es sind daher eine Reihe unterschiedlicher Betriebsfestigkeitsprüfstände entwickelt worden, die mit Hilfe von schnellen hydraulischen Zylindern alle wichtigen Beanspruchungen in ein Fahrwerk einleiten können. Ein Prüfstand dieser Art ist in DE 22 01 590 C3 beschrieben. Einen Überblick über mehraxiale servohydraulische

Prüfstände für Schwingfestigkeits-Untersuchungen an Kraftfahrzeugen ist in der Automobiltechnischen Zeitschrift ATZ 74 (1972) 4, S. 139 - 145 gegeben.

Bei diesen Prüfständen ist eine Übertragung der Radlasten über abrollende Reifen nicht mehr möglich, vielmehr werden statt der Reifen Adapter an den Radnaben angebracht, an denen Kraftkomponenten über Gestänge eingeleitet werden. Ein solches, besonders leistungsfähiges Krafteinleitungssystem ist z.B. in DE 26 42 155 C3 beschrieben, das bis zu 5 Kraftkomponenten je Rad vorsieht und alle Freiheitsgrade des Rades einschließlich der Lenkbewegung berücksichtigt.

Obwohl Prüfstände dieser Art in Verbindung mit leistungsfähigen Prozeßrechneranlagen erfolgreich in der Automobilindustrie eingesetzt werden, haben sie prinzipielle Nachteile:

1. Durch das Fehlen der Reifen und das Anbringen von komplizierten Krafteinleitungsmechanismen wird die Massenverteilung des Fahrzeuges völlig verändert.
2. Die Beschaffung der Signale, mit denen die Erreger-Zylinder angesteuert werden ist äußerst aufwendig und kompliziert. So müssen zunächst Fahrversuche mit einem Fahrzeug durchgeführt werden und Beanspruchungen an wichtigen Fahrwerksstellen aufgezeichnet werden. Dies setzt wiederum leichte und empfindliche Meßaufnehmer und aufwendige Meßdatenverarbeitung voraus. Auf dem Prüfstand müssen dann die Übertragungsfunktionen von jedem Erregerzylinder zu jedem Meßaufnehmer bestimmt werden. Mit Hilfe dieser Übertragungsfunktionen wird dann aus den im Fahrversuch gemessenen Beanspruchungen auf die dazu notwendigen Erregersignale zurückgeschlossen. Iterativ werden die Erregersignale dann so lange korrigiert, bis die so erhaltenen Antwortsignale den gemessenen Beanspruchungen genügend genau entsprechen. Dieses als Remote-Parameter-Control (RPC) ITFC bezeichnete Verfahren ist in der Automobiltechnischen Zeitschrift ATZ, 82. Jahrgang, Heft 9/1980 beschrieben. Anwendungsergebnisse sind zum Beispiel in SAE Technical Paper Series 820094, Feb. 1982 dargestellt. Bei der Anwendung solcher Verfahren müssen mehrjährige Erfahrung in der Meßdatenanalyse und -verarbeitung vorausgesetzt werden. Schon aus Kosten- und Personalgründen sind solche Verfahren nicht für kleinere Motor-Fahrzeuge, Anhänger oder muskelkraftbetriebene Fahrzeuge einsetzbar.
3. Da unterschiedliche Fahrzeuge beim Überfahren der gleichen Fahrbahnunebenheit unterschiedlich reagieren, also unterschiedliche Schwingungsantworten bzw. Beanspruchungen erzeugen, muß auch das Verfahren zum Errechnen der Erregersignale für jede Fahrzeugvariante wiederholt werden.
4. Die Teststrecke zur Aufnahme der Beanspruchungen im Fahrversuch muß kurz gehalten werden, da die Menge der speicherbaren Daten begrenzt ist. Die daraus gewonnenen Erregerdaten, also die Sollwerte für die hydraulischen Zylinder an den ortsfesten Prüfständen werden daher mehrfach hintereinander wiederbenutzt, obwohl die Übertragungsfunktionen des Fahrzeuges sich in der Zwischenzeit verändert haben; so werden Gummielemente des Fahrwerkes härter, die Stoßdämpfereigenschaften ändern sich kurzfristig mit der Temperatur und langfristig mit dem Verschleißzustand

U.S.W.

Die Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Verfahren zu ermöglichen, das ähnlich funktioniert wie der Fahrt auf Straßen oder Teststrecken und das sich auf einem ortsfesten Prüfstand anwenden läßt.

Der wesentliche Unterschied zu den vorgenannten Betriebsfestigkeitsprüfständen besteht darin, daß nicht die vielfältigen Schwingungsantworten bzw. Beanspruchungen im Fahrzeug gemessen und dann reproduziert werden, sondern daß die diese Beanspruchungen auslösenden Eingangs- oder Erregersignale reproduziert werden. Diese entstehen aus der Kombination von Unebenheiten der Fahrbahn, also aus dem überfahrenen Profil, und von Fahrmanövern, also von der vom Fahrer getroffenen Wahl für Beschleunigung, Geschwindigkeit und Richtung. Werden diese Erregersignale an den abrollenden Reifen eines Fahrzeuges mit den gleichen Frequenzen eingeleitet, so entstehen die Antwortschwingungen und die daraus resultierenden Beanspruchungen des Fahrwerkes, der Karosserie, des Antriebsstranges oder des Fahrers ganz von selbst und sie verändern sich auch ohne Zutun, wenn sich Steifigkeits- oder Dämpfungseigenschaften am Fahrzeug während des Prüflaufes ändern.

Ähnlich wie beim Fahrversuch sind keine Beanspruchungsmessungen notwendig, auch dann nicht, wenn sich das Fahrzeug in seinen Eigenschaften völlig geändert hat.

Als Meßwerte werden lediglich repräsentative Straßenprofile und Fahrmanöver benötigt, die sich für besondere Betriebsfestigkeitstests auch noch entsprechend kombinieren lassen. Diese Meßwerte brauchen nur einmal beschafft zu werden, sind vom Typ des zu prüfenden Fahrzeuges unabhängig und können daher immer wieder verwendet werden, solange sich die Art der Fahrbahn oder die z. B. gesetzlich zugelassenen Fahrmanöver nicht ändern.

Das vorgeschlagene Testverfahren kann daher auch dann zur Anwendung kommen, wenn die entsprechende Erfahrung in der Meßdatenverarbeitung und Analyse fehlt. Lebensdaueruntersuchungen können damit im Prinzip genau so einfach durchgeführt werden, wie Fahrversuche mit Fahrern auf Teststrecken oder Straßen. Andererseits bleiben die Vorteile des ortsfesten Prüfstandes, der genau reproduzierbare Erregersignale in das Fahrzeug einleitet. Der Prüfstand kann dabei voll automatisiert sein und die Prüfung ist ohne Testfahrer durchführbar, was zu erheblicher Kosteneinsparung führt. Auch kann ein normales Serienfahrzeug oder ein Prototyp verwendet werden, der nicht mit aufwendigen Meßaufnehmern bestückt sein muß. Damit können die Meßaufnehmer, die oft die empfindlichsten Stellen des Prüfsystems darstellen, und die bei Prüfständen mit hydraulischen Zylindern innerhalb des Regelkreises liegen, nicht ausfallen, weil sie nicht vorhanden sind.

Das vorgeschlagene Verfahren bringt für den Prüflauf bei Fahrzeugherstellern auch erhebliche Zeitvorteile. Das erwähnte RPC-Verfahren macht es erforderlich, daß ein Fahrzeug mit Meßaufnehmern ausgestattet wird und daß damit repräsentative Strecken abzufahren sind. Die dabei aufgenommenen Daten müssen danach auf ihre Brauchbarkeit hin überprüft werden. Es werden Daten auf bis zu 16 Datenkanäle synchron aufgezeichnet. Bei Ausfall eines Meßverstärkers oder Meßaufnehmers sind die entsprechenden Meßfahrten zu wiederholen, die oft auch im Ausland durchgeführt werden.

Im Labor sind dann die Übertragungsfunktionen an

genau diesem Fahrzeug mit identischen Aufnehmern zu messen. Auch hier besteht das Problem, daß die Aufnehmer überlastet oder die Fahrzeugstruktur überbeansprucht wird. Schließlich sind mit den hier bestimmten Übertragungsfunktionen die Erregersignale für die Prüfszylinder zu errechnen und iterativ zu verbessern, bis genau die vorher bei der Meßfahrt aufgezeichneten Beanspruchungen auf dem Prüfstand wieder entstehen.

Bis dann ein Dauerversuch mit diesen Erregersignalen beginnen kann, können allein für die Versuchsvorbereitung und Datenaufnahme mehrere Monate vergangen sein.

Auch das vorgeschlagene Verfahren kommt nicht ohne Meßdatenerfassung aus. Der Unterschied besteht aber darin, daß die hier aufzunehmenden Daten wie Straßenprofile allgemein gültigen Charakter haben und für alle Arten und Varianten von Fahrzeugen immer wieder verwendbar sind. Das gleiche gilt für Daten, die die möglichen Fahrmanöver einer Fahrzeugklasse (Lkw, Fahrrad) beschreiben. Auch sie sind für eine Klasse von Fahrzeugen allgemein gültig. Auch werden erheblich weniger Daten benötigt, z.B. 2 Kanäle für Fahrbahnprofile bei 2spurigen Fahrzeugen und drei oder vier Kanäle zur Beschreibung von Lenkmanöver, Geschwindigkeit, Bremsmanöver oder Beschleunigung.

Diese Daten sind daher nur einmal zu erfassen und können als Datensatz mit dem Prüfstand vom Hersteller des Prüfstandes angeboten werden. Der Anwender braucht nur noch eine Datenauswahl und Kombination von Straßenprofilen und dazu passende Fahrmanöver zu treffen und kann seine Lebensdauer-, Funktions- oder Betriebsfestigkeitsprüfung nach wenigen Tagen Vorbereitung beginnen. Selbstverständlich können auch an einigen Kontrollpunkten im Fahrzeug auf dem Prüfstand Beanspruchungen als Antwort auf die — eingeleitete Erregung mitgemessen werden. Diese Datenaufnahme ist aber nur als Überwachung zu sehen und für den sicheren Betrieb des Prüfvorganges nicht notwendig.

Ein weiterer prinzipieller Vorteil des vorgeschlagenen Verfahrens besteht darin, daß sich die Beanspruchungen während des Prüfablaufes automatisch ändern, wenn sich die Fahrzeugeigenschaften ändern. Insofern ist das Verfahren dem Fahrversuch auf der Teststrecke ebenbürtig und den üblichen Betriebsfestigkeitsversuchen weit überlegen. Dort wird ein einmal bei der Meßfahrt aufgetretener Beanspruchungsverlauf auf dem Prüfstand vielfach exakt wiederholt, obwohl sich die Steifigkeiten und Dämpfungseigenschaften z.B. von Stoßdämpfern nach längeren Testfahrten erheblich verändert haben können.

Das Prinzip des vorgeschlagenen Verfahrens liegt darin, daß auf einem ortsfesten Prüfstand Erregersignale benutzt werden, die den Erregersignalen des echten Fahrbetriebes sehr ähnlich sind — z.B. Weganregung der drehenden Reifen durch das Straßenprofil — und daß dabei exakt die gleichen Übertragungswege benutzt werden wie im Fahrttest.

Damit wird das komplexe Schwingungssystem Fahrzeug an allen Stellen auch Beanspruchungen erleiden, die denen des Fahrbetriebes weitgehend entsprechen. Es ist weder eine Messung der Übertragungsfunktion von jeder Erregerstelle zu jedem Meßpunkt im Fahrzeug notwendig, noch ist die exakte Reproduktion der an diesen Meßpunkten im Fahrbetrieb ermittelten Beanspruchungen notwendig. Das Verfahren reproduziert die richtigen Beanspruchungen auch dann noch von selbst, wenn sich die Übertragungsfunktionen im Laufe

der Prüfung verändern z.B. durch härter werdende Gummielemente im Fahrwerk oder Veränderung der Dämpfereigenschaften.

Die Fig. 1 bis 4 zeigen mögliche Prüfstandsvarianten, Fig. 5 stellt Varianten zur Gestaltung der Testoberfläche dar. Fig. 6 zeigt einen Verstellantrieb für die Fahr-  
bahnelemente, während in Fig. 7 eine Möglichkeit aufge-  
zeigt wird, die Elemente in einem umlaufenden Band  
durch Verstellantriebe in einer Umlenktrummel zu posi-  
tionieren. In den Fig. 8 bis 12 werden Methoden zur  
Kombination von Reibkräften und Straßenunebenhei-  
ten beschrieben.

Bei dem in Fig. 1 im Prinzip dargestellten Versuchs-  
aufbau wird das Fahrzeug 1 in seinem Schwerpunkt 12  
über Lenker 13 so gehalten, daß seine Längs- und Quer-  
bewegung behindert, Bewegungen in allen anderen  
Freiheitsgraden jedoch möglich sind. Die Testoberflä-  
che 2 bewegt sich relativ zum Fahrzeug in Richtung 14,  
wobei die Fahrzeugräder auf der Testoberfläche abrol-  
len und diese in den Punkten 4 und 6 berühren. Dadurch  
entsteht am Vorderrad die Reifenkraft  $F_V$ , die vom Be-  
rührungspunkt 4 zum Radmittelpunkt 3 gerichtet ist und  
deren Größe und Lage im Raum sich zeitlich schnell  
verändert. Zum gleichen Zeitpunkt wirkt eine Reifen-  
kraft  $F_H$  vom Berührungspunkt 6 zum Mittelpunkt 5 des  
Hinterrades. Wird das Hinterrad zusätzlich gebremst, so  
wirkt im Berührungspunkt 6 eine Bremskraft  $F_B$  am  
Radumfang. Nimmt man weiterhin an, daß das Vorder-  
rad angetrieben wird, so wirkt im Berührungspunkt 4  
eine Antriebskraft  $F_A$  in Umfangrichtung des Rades.  $F_B$   
und  $F_A$  sind Reibkräfte, deren Größe von den jeweils  
vom Fahrer eingeleiteten Fahrmanövern abhängen und  
deren Höchstwert durch die zugehörigen Normalkräfte  
 $F_H$  und  $F_V$  und die Reibungszahlen zwischen Testober-  
fläche und Reifen gegeben sind.

Die Fahrmanöver werden durch bekannte Simulato-  
ren 15 ausgeführt, die zum Bremsen den Bremshebel 9  
betätigen und zum Antreiben den Gashebel 10 und den  
Schalthebel 11.

Zur Simulation von Seitenkräften  $F_S$  z.B. an den Be-  
rührungspunkten 4 und 7 der Vorderräder mit der Test-  
oberfläche wird am Lenkrad 8 eine Lenkbewegung ein-  
geleitet. Das Profil der Testoberfläche kann gezielt ver-  
ändert werden, ist jedoch in dem Abschnitt, der sich  
jeweils unter den Fahrzeugrädern bewegt, als starr zu  
betrachten. Dadurch wird das Hinterrad nach einer von  
der Fahrgeschwindigkeit abhängigen Verzögerungszeit  
über das gleiche Fahrbahnprofil rollen wie zuvor das  
Vorderrad.

Fig. 2 zeigt verschiedene Möglichkeiten, die Test-  
oberfläche 2 auf der Außenseite 21 oder der Innenseite  
22 eines Zylindermantels oder auf der Stirnseite 23 an-  
zuordnen. Lagerung und Antrieb 25 der Trommel sind  
so ausgeführt, daß unterschiedliche Trommeldrehzahlen  
programmiert werden können.

In Fig. 3 wird die Testoberfläche 2 auf einem umlau-  
fenden Band 31 verwirklicht. Das Band kann z.B. als  
glattes Stahlband ausgeführt sein, auf dessen Außenseite  
verstellbare Fahrbahnelemente aufgebracht sind. Das  
Band wird über die Antriebstrummel 32 und die Um-  
lenktrummel 33 geführt. Zur Abstützung der Radlasten  
der Fahrzeuge 1 sind Abstützeinrichtungen 34 vorgese-  
hen, die das auf der Unterseite glatte Band tragen. Be-  
kannt sind Gleitführungen, Luft- und Wasserlager und  
Rollenlager, die die Radlasten aufnehmen und die Rei-  
bung zwischen Band und Abstützeinrichtung 34 klein  
halten.

Das Band kann beliebig lang ausgebildet werden, so

daß auch mehrere Fahrzeuge darauf Platz finden. So ist  
eine Vergleichsprüfung unterschiedlicher Fahrzeugty-  
pen möglich.

Schließlich ist in Fig. 4 ein Prüfstand angedeutet, bei  
dem für jedes Rad des Fahrzeuges 1 eine Trommel 41  
vorgesehen ist, auf der die Testoberfläche 2 ausgebildet  
werden kann. Die Lagereinheiten 42 für die Trommeln  
sind dazu in Fahrzeuglängs- und -querrichtung so ver-  
schiebbar, daß sie auf den Radstand und die Spurweite  
der Testfahrzeuge eingestellt werden können. Wie bei  
Bremsprüfständen üblich, wird die träge Masse der  
Trommeln den Massen des Fahrzeuges angepaßt, insbe-  
sondere dann, wenn Beschleunigungs- und Bremsimu-  
lationen auf dem Prüfstand durchgeführt werden sollen.

Die Fig. 5 zeigt Beispiele zur Gestaltung einer varia-  
blen Testoberfläche, wie sie auf einer rotierenden Trom-  
mel oder einem umlaufenden Band vorgesehen ist. Die  
Fahrbahnelemente 51, 52, 53 können als prismatische,  
zylindrische oder plattenförmige Körper ausgebildet  
und verschiebbar angeordnet sein, um damit eine Fahr-  
bahnoberfläche nachzubilden. Diese als Testoberfläche  
2 bezeichnete programmierbare Oberflächenstruktur  
bewegt sich in Richtung 54 unter den Fahrzeugrädern  
hindurch und stellt so eine Wegerregung für das schwin-  
gungsfähige Fahrzeug dar.

Die Fahrbahnelemente 51, 52, 53 sind in ihrer jeweili-  
gen Position mindestens solange blockiert, wie das  
Überrollen eines oder mehrerer Fahrzeugräder dauert.  
Die in der Testoberfläche gespeicherte kinetische Ener-  
gie, die von der Gesamtmasse aller blockierten Fahr-  
bahnelemente und deren Geschwindigkeit in Richtung  
54 abhängt, steht zur stoßartigen Anregung der Fahr-  
zeugreifen zur Verfügung und wird nach dem Überrol-  
len zum Teil wieder zurückgewonnen. Gegenüber hy-  
draulischen Prüfständen, deren Zylinder für die höchste  
vertikale Stoßkraft und Geschwindigkeit gleichzeitig  
ausgelegt werden müssen, ist das vorgeschlagene Ver-  
fahren mit umlaufender variabler Testoberfläche 2 auch  
energetisch weit im Vorteil.

Hier ist lediglich die Energie aufzuwenden, die not-  
wendig ist, um die Fahrbahnelemente während der Um-  
laufzeit des Bandes oder der Trommel in ihre neue Posi-  
tion zu verschieben. Bleiben die Fahrbahnelemente für  
längere Zeit in der gleichen Position, weil die gleichen  
Fahrbahnabschnitte sich wiederholen sollen, so wird  
überhaupt keine Verstellenergie benötigt, so daß ledig-  
lich die Reibungsverluste der umlaufenden Trommel  
oder des umlaufenden Bandes aufzubringen sind. Die  
Fahrbahnelemente 51, 52, 53 werden mittels Geradföh-  
rungen 55, Lenkerführungen 56, schiefen Ebenen 57  
oder Gewindespindeln 58 geführt und verstellt.

Bei rotierenden Trommeln sind positionsgeregelte  
hydraulische oder pneumatische Zylinder als Verstellan-  
trieb für die Fahrbahnelemente denkbar. In Fig. 6 ist  
eine Verstelleinrichtung 58 mit Spindel 62 und Elektro-  
motor 63 detailliert dargestellt. Durch Verwendung ei-  
nes Schrittmotors kann die Wegmessung und der Weg-  
regelkreis entfallen. Über die Zuleitungen 64 werden  
dem Motor Positionssollwerte in Form von Impulsen  
vorgegeben, die der Motor in eine entsprechende Zahl  
von Winkelschritten umwandelt. Über die mit der Mo-  
torwelle verbundene Spindel 62 und das im Fahrbahn-  
element vorgesehene Mutterngewinde 65 werden die  
Fahrbahnelemente 51, 52, 53 verschoben.

In Fig. 7 wird eine Möglichkeit aufgezeigt, die Fahr-  
bahnelemente 53 im umlaufenden Band 31 zu positi-  
onieren, ohne daß die dazu erforderlichen Verstellantrie-  
be auf dem Band angeordnet sind. Führungen 55 oder

56, wie sie in Bild 5 dargestellt sind, erlauben eine Bewegung der Fahrbahnelemente senkrecht zur Bandoberfläche innerhalb vorgegebener Anschläge. Verstellantriebe 74, ähnlich aufgebaut wie 58 in Fig. 6, sind an der Antriebstrommel 32 befestigt und werden über Schleifring 76 mit Signalen für die Sollpositionen versorgt. Beginnend bei Winkelstellung 73 werden die Verstellantriebe in die nächste Position gebracht. Bei Winkelstellung 71 ist der Positioniervorgang abgeschlossen.

Durch ihr Eigengewicht verschieben sich alle Fahrbahnelemente im unteren geraden Bandteil nach außen. Auf der Trommel 32 gleiten sie wieder unter ihrem Eigengewicht ab Winkelstellung 71 auf die Verstellspindelmutter 75, so daß sich die Position der Verstellantriebe auf die Fahrbahnelemente überträgt. Ab der Winkelstellung 72 werden die Fahrbahnelemente durch Druckkräfte im oberen geraden Teil des Bandes 31 eingeklemmt, die dadurch entstehen, daß das Band unter dem Gewicht der Fahrbahnelemente und des Fahrzeuges durchhängt. Im oberen Bandteil entstehen dabei Zugkräfte. Insbesondere entstehen durch die Wechselwirkung zwischen Reifen und Testoberfläche weitere Druckkräfte, die die Reibung zwischen den Fahrbahnelementen vergrößern. Die in Fig. 3 gezeigten Abstützelemente 34 sind daher so angeordnet, daß eine entsprechende Durchbiegung des umlaufenden Bandes möglich ist.

Die Verstellantriebe 74 können in einer anderen Ausführungsvariante auch in einer Verstelleinheit 77 angeordnet sein. Dabei wird entweder das Band angehalten, um eine Gruppe von Fahrbahnelementen zu verstellen, oder die Verstelleinheit macht eine mit der Bandgeschwindigkeit synchronisierte oszillierende Bewegung in Richtung des Bandes.

Bei Verzögerungen und Beschleunigungen des Fahrzeuges oder bei Kurvenfahrt werden Reibkräfte zwischen den Rädern und der Fahrbahnoberfläche übertragen.

In Fig. 8 wird eine Anordnung beschrieben, die zur Simulation solcher Reibungskräfte  $F_S$  bei Lenkmanövern geeignet ist. Das Fahrzeug 1 stützt sich über seine Räder auf der Testoberfläche 2 ab und ist im Schwerpunkt 12 so befestigt, daß nur vertikale Bewegungen des Schwerpunktes und Drehbewegungen um den Schwerpunkt möglich sind. Als Befestigung kann z.B. der Lenker 13 dienen, der an einer Stütze 87 um die Achse 81 drehbar gelagert ist.

Sobald über das Stellglied 84 und das Lenkrad 8 ein kleiner Lenkeinschlag an den Vorderrädern erzeugt wird, entstehen durch Schräglaufl der Reifen die Seitenkräfte  $F_S$  in den Radaufstandpunkten 4 und 7. Da das Fahrzeug seitlich nicht ausweichen kann, entsteht eine Reaktionskraft  $F_{GS}$  im Lenker 13, die an einer Meßeinrichtung 82 gemessen wird.

Soll z.B. bei einer Betriebsfestigkeitsuntersuchung die Querbesehleunigung des Fahrzeuges simuliert werden, deren zeitlicher Verlauf  $a_q(t)$  vorher bei einer Probefahrt aufgezeichnet wurde, so kann man auf dem Prüfstand stattdessen eine der Querbesehleunigung analoge Gesamtseitenkraft  $F_{GS}$  erzeugen.

Dazu wird ein entsprechendes Sollwertsignal  $F_{GS}(t)$  von einer geeigneten Speichereinheit 88 wie z.B. Magnetbandgerät oder digitale Plattenspeicher abgerufen und einer Regeleinrichtung 83 zugeführt, die diesen Sollwert mit dem Istwert der Kraft  $F_{GS}$  aus der Kraftmeßeinrichtung 82 vergleicht und ein entsprechendes Stellsignal zum Stellglied 84 leitet. Die daraus resultierenden Lenkeinschläge  $\alpha$  erzeugen dann Seitenkräfte

$F_S$ , deren Größe und zeitlicher Verlauf denen bei der aufgezeichneten Probefahrt mit Querbesehleunigungen sehr ähnlich sind.

Wenn die Testoberfläche 2 gleichzeitig so programmiert wird, daß ein bestimmtes Straßenprofil  $h_1(t)$  u.  $h_2(t)$  für die beiden Fahrspuren simuliert wird, und eine zur Kurvenfahrt passende Fahrgeschwindigkeit  $v(t)$  gewählt wird, können Kurvenfahrten mit nur 4 Erregersignalen simuliert werden.

- rechtes Fahrbahnprofil  $h_1(t)$
- linkes Fahrbahnprofil  $h_2(t)$
- Fahrgeschwindigkeit  $v(t)$
- Querbesehleunigung  $a_q(t)$  bzw. Querkraft  $F_{GS}(t)$ .

Diese Erregersignale können unabhängig vom jeweils zu prüfenden Fahrzeug gespeichert werden und zu Prüfprogrammen zusammengestellt werden.

Die Gesamtseitenkraft  $F_{GS}$  ist von der im Fahrbetrieb gemessenen Querbesehleunigung  $a_q$  abhängig:  $F_{GS} = a_q \times m$ , wobei  $m$  die Fahrzeugmasse ist.

In ähnlicher Weise können Fahrbahnebenheiten mit Bremsmanövern kombiniert werden. Die Fig. 9 stellt die wichtigsten Elemente des Bremsregelkreises vor. Das im Schwerpunkt gefesselte Fahrzeug 1 wird bei Betätigung der Bremse 99 des Rades 5 eine Bremskraft  $F_B$  im Radaufstandpunkt 6 erzeugen. Zusammen mit den Bremskräften  $F_B$  der übrigen Räder entsteht im Lenker 13 eine Gesamtbremskraft  $F_{GB}$ , die in einer Kraftmeßeinrichtung 92 gemessen wird. Die in Richtung 54 bewegte Testoberfläche 2 wird dabei abgebremst, die Bremskraft wird über Fahrwerk, Karosse und Lenker 13 auf den Befestigungspunkt 91 an der Stütze 97 übertragen.

Zur Simulation eines Bremsmanövers wird ein entsprechender gespeicherter Sollwertverlauf  $F_{GB}(t)$  von einer Speichereinheit 98 abgerufen und mit dem jeweiligen Istwert  $F_{GB}$  an der Kraftmeßeinrichtung 92 in der Regeleinrichtung 93 verglichen. Aus jeder Abweichung zwischen Ist- und Sollwert wird ein Stellsignal gebildet, das im Stellglied 94 im Simulator 15 eine entsprechende Betätigung der Bremse 9 hervorruft. Durch entsprechende Wahl der Testoberfläche, beziehungsweise deren beide Fahrbahnprofile  $h_1(t)$  und  $h_2(t)$  und der Fahrgeschwindigkeit  $v(t)$  und deren Kombination mit dem zeitlichen Bremskraftverlauf  $F_{GB}(t)$  lassen sich Bremsmanöver bei unebener Straße und konstanter Geschwindigkeit ausführen. Man kann die Geschwindigkeit  $v(t)$  auch in Abhängigkeit von der jeweiligen Größe der Gesamtbremskraft  $F_{GB}$  verändern. Die Bremskraft  $F_{GB}$  ist von der beim Fahrversuch gemessenen Verzögerung  $a_B$  abhängig:

$$F_{GB} = a_B \times m$$

wobei  $m$  die Fahrzeugmasse bedeutet.

Anhand von Fig. 10 wird der Regelkreis zur Simulation von Antriebskräften  $F_A$  am Radaufstandpunkt 4 des angetriebenen Rades 3 beschrieben. Die Fesselung des Fahrzeuges an einer Stütze 97 entspricht der von Fig. 9.

Die Gesamtantriebskraft  $F_{GA}$  als Summe der Antriebskräfte  $F_A$  aller Antriebsräder wird am gleichen Kraftaufnehmer 92 gemessen wie die Bremskraft  $F_{GB}$ . Durch eine Schaltvorrichtung 110 kann dieser Sollwert wahlweise an den Brems- oder den Antriebsregelkreis geführt werden, wobei die Schalterstellung davon abhängt, ob Brems- oder Antriebsmanöver simuliert werden sollen, analog der Entscheidung des Fahrers, den Fuß entweder auf der Bremse oder auf dem Gaspedal

zu plazieren. Der Sollwert  $F_{GA}(t)$  aus der Speichereinheit 108 wird in der Regeleinrichtung 103 mit dem Istwert verglichen. Abweichungen führen zu einem Stellsignal und einer Betätigung des Stellgliedes 104 im Simulator 15, das seinerseits das Antriebsmoment des Fahrzeugmotors 109 verändert und die Fahrzeugräder antreibt.

Durch Kombination von Fahrmanövern wie Bremsen, Antreiben oder Kurvenfahren mit den durch die Testoberfläche 2 simulierten Fahrbahnprofilen entstehen in den Radaufstandspunkten gleichzeitig auch die zu den Radmittelpunkten gerichtete, im wesentlichen vertikale Kräfte  $F_V$  und  $F_H$ , die für eine dynamische Anregung der Radaufhängungen und der Aufbaustruktur sorgen. Es wurde bereits darauf hingewiesen, daß der wesentliche Vorteil des vorgeschlagenen Verfahrens darin liegt, daß mit einer relativ geringen Zahl von Anregungs-Zeit-Funktionen:

- rechtes Fahrbahnprofil  $h_1(t)$
- linkes Fahrbahnprofil  $h_2(t)$  nur bei Zweispurfahrzeugen
- Querkraft  $F_{GS}(t)$
- Bremskraft  $F_{GB}(t)$
- Antriebskraft  $F_{GA}(t)$
- Schalterstellung 110

die gesamte Fahrzeugbewegung und Beanspruchung simuliert werden kann. Besonders vorteilhaft dabei ist, daß diese Anregungs-Zeit-Funktionen weitgehend unabhängig voneinander sind und auf unterschiedliche Fahrzeuge innerhalb einer Klasse (wie z.B. Pkw) anwendbar sind.

Die an der Testoberfläche erzeugten Reibkräfte  $F_A$  und  $F_B$  müssen von den Trommel- oder Bandantrieben 25 aufgenommen werden. Bei Bremsvorgängen muß die Testoberfläche angetrieben werden, beim Antreiben muß die Testoberfläche zum Beispiel über Wasserwirbelbremsen oder E-Motoren abgebremst werden, wobei eine Energierückgewinnung möglich ist.

Die in den Fig. 8, 9 und 10 dargestellte Fesselung des Fahrzeuges mittels Lenker 13 kann problematisch sein, wenn der Fahrzeugschwerpunkt nicht zugänglich ist, oder wenn die Fahrzeugstruktur eine Konzentration der horizontalen Massenkräfte aus Längs- und Querschleunigungen nicht zuläßt.

Für diesen Fall wird in Fig. 11 eine Prüfstandsvariante vorgeschlagen, die durch entsprechende Neigung der Testoberfläche Gewichtskräfte zur Simulation der Massenkräfte benutzt.

Die Antriebs- und Umlenkrollen 32 und 33 eines Prüfstandes mit umlaufendem Band 31 sind auf einer Schwenkeinrichtung 115 mit kugelförmiger Lagerungsfläche 113 so montiert, daß sie auf einen Fundamentteil 114 geschwenkt werden kann. Der Kugelmittelpunkt liegt dabei etwa im Schwerpunkt 12 des Fahrzeuges 1.

Die in Richtung der Testoberfläche wirkende Komponente  $F_{GB}$  der Fahrzeuggewichtskraft  $F_{GW}$  muß durch Bremskräfte  $F_B$  an den Rädern ausgeglichen werden, wenn das Fahrzeug seine Schwerpunktslage im Raum beibehalten soll. Bei Bremssimulation wird hier ein Wegregelkreis statt eines Kraftregelkreises benutzt.

Im Fahrzeugschwerpunkt 12 ist eine Wegmeßeinrichtung 112 befestigt, die den Abstand des Schwerpunktes von einem Punkt 111 am Schwenkrahmen 115 feststellt. Dieser Abstand wird mittels Regeleinrichtung 92 konstant gehalten, wenn am Sollwertgeber 98 ein konstanter Sollabstand eingestellt wird.

Sein Stellsignal wirkt im Falle der Bremssimulation auf die Fahrzeugbremsen über das Stellglied 94 und im Fall der Simulation von Antriebskräften  $F_A$  auf den Fahrzeugmotor über das Stellglied 104 im Fahr Simulator 15.

Analog lassen sich Seitenkräfte  $F_S$  dadurch erzeugen, daß die Schwenkeinrichtung 115 seitlich verkippt wird und ein weiterer nicht dargestellter Wegregelkreis die Seitenverschiebung des Fahrzeuges über Lenkeinschläge relativ zur Testoberfläche konstant hält.

Die in Fig. 11 dargestellte Schwenkeinrichtung läßt sich nur langsam verstellen, kann somit Reibkräfte bei Bergfahrten, langsamen Bremsvorgängen oder Kurvenfahrten auf konstantem Kurvenradius simulieren.

Zur Simulation hochfrequenter Reibkräfte ist in Fig. 12 eine Prüfstandsvariante mit den gleichen Wegregelkreisen wie in Fig. 11 gezeigt. Das Fahrzeug bleibt hier ebenfalls ungefesselt, kann aber horizontale Bewegungen ausführen. So führt eine Bremskraft  $F_B$  zu einer Beschleunigung des Fahrzeuges nach rückwärts und damit zu einer Verschiebung des Schwerpunktes 12. Anschließend ist dann eine Beschleunigung nach vorn notwendig, um die Schwerpunktsverschiebung wieder rückgängig zu machen.

Innerhalb des vom Prüfstand vorgegebenen Bewegungsraumes in Längs- und -querrichtung können beliebig hohe, nur durch die Reibung begrenzte Massenkräfte über die Räder in das Fahrzeug eingeleitet werden. Lediglich die Zeit ihrer Einwirkung muß so kurz gehalten werden, daß die Verschiebungen nicht zu groß werden. Dies ist kein genereller Nachteil bei Betriebsfestigkeitsuntersuchungen, wo es nur auf die Größe und Zahl der Belastungsamplituden, nicht jedoch auf die Dauer der Belastung ankommt.

Bei Studien über Lebensdauer und Erwärmung von Bremsanlagen ist jedoch eher ein Prüfstand nach Fig. 11 von Vorteil, weil hier Bremsbelastungen beliebig lange simuliert werden können.

Alle in der Beschreibung erwähnten und/oder in der Zeichnung dargestellten neuen Merkmale allein oder in sinnvoller Kombination sind erfindungswesentlich, auch wenn sie in den Ansprüchen nicht ausdrücklich beansprucht sind.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Simulation von Betriebsbeanspruchungen an Fahrzeugen und Fahrwerken durch Vorgabe der zeitlichen Anregungsfunktionen durch Fahrbahnoberflächen und Fahrmanöver **dadurch gekennzeichnet**, daß die Fahrmanöver wie Beschleunigen, Bremsen, Geschwindigkeitwählen, Kurvenfahrt einerseits und die Erregung der schwingungsfähigen Fahrzeugstruktur durch Unebenheiten der Straßenoberfläche andererseits auf einem Prüfstand getrennt voneinander eingeleitet werden, daß diese getrennt gemessenen Anregungsfunktionen für unterschiedlich harte Prüfungen beliebig gemischt werden können, daß dieselben Anregungsfunktionen auf unterschiedliche Fahrzeuge angewendet werden können, daß bei unterschiedlichen Fahrzeugen durch verschiedene Übertragungsfunktionen zwischen den Erregerstellen und den interessierenden Fahrzeugpunkten an diesen Punkten auch verschiedene Beanspruchungen von selbst wie im Fahrbetrieb auftreten, ohne daß diese Antwortfunktionen wie Dehnungen, Schwingwege, Beschleunigungskräfte oder

Verformungen an diesen Fahrzeugpunkten für unterschiedliche Anregungen oder Fahrzeuge gemessen und durch Weg- oder Kraftsimulatoren reproduziert werden müssen.

2. Verfahren und Prüfstand nach Anspruch 1 zur Ermittlung der Betriebsfestigkeit von Fahrzeugen aller Art, bei denen die Räder des zu prüfenden Fahrzeuges auf einer Testoberfläche abrollen, dadurch gekennzeichnet, daß die Testoberfläche relativ zum Fahrzeug bewegt und deren Profil frei programmierbar verändert wird.

3. Prüfstand nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Testoberfläche auf der Mantel- oder Stirnfläche einer rotierenden Trommel ausgebildet ist, auf der alle Räder des Fahrzeuges aufliegen.

4. Prüfstand nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Testoberfläche als umlaufendes Band ausgebildet ist, auf dem die Räder eines oder mehrerer Fahrzeuge aufliegen.

5. Prüfstand nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Testoberfläche auf mehreren Trommeln abgebildet wird, auf denen je ein Rad des Fahrzeugs aufliegt.

6. Prüfstand nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß zur Profilierung der Testoberfläche Fahrbahnelemente verwendet werden, die durch Stellantriebe einzeln relativ zur Fahrbahnoberfläche verstellt werden können, so daß ein veränderliches Profil erzeugt werden kann.

7. Prüfstand nach Anspruch 1, 2 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Umlenktrommeln Stelltriebe aufweisen, deren Position auf die Fahrbahnelemente eines umlaufenden Bandes übertragen werden können, so daß ein veränderliches Profil erzeugt werden kann.

8. Prüfstand nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zum Festhalten der Position der Fahrbahnelemente im umlaufenden Band vorgespannte Formschluß- oder Reibschlußverbindungen eingesetzt werden, die in der Druckzone eines gegliederten Bandes liegen und sich bei Belastung des geraden Bandteiles z. B. durch die Fahrzeugräder, von selbst festhalten.

9. Verfahren zur Simulation von Reibkräften am Radumfang im Kontaktpunkt zwischen Fahrzeugrad und Testoberfläche in Kombination mit Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Fahrzeug in Richtung der Reibkraft gefesselt, in allen übrigen Freiheitsgraden beweglich ist, und daß Kraftregelkreise für die horizontalen Längskräfte und Querkkräfte an der Fesseleinrichtung verwendet werden.

10. Verfahren zur Simulation von Reibkräften am Radumfang in Kombination mit Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Testoberfläche in Richtung der Reibkraft geneigt wird und die Kraftübertragung durch Antreiben der Fahrzeugräder und Abbremsen der Testoberfläche oder umgekehrt bewerkstelligt wird, und daß Lageregelkreise den Schwerpunkt des Fahrzeuges in Längs- und Querrichtung halten.

11. Verfahren zur Simulation von Reibkräften am Radumfang in Kombination mit Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Fahrzeug sich auf der Testoberfläche horizontal frei bewegen kann und durch Lageregelkreise in Längs- und Querrichtung beschleunigt werden kann.

Fig. 1

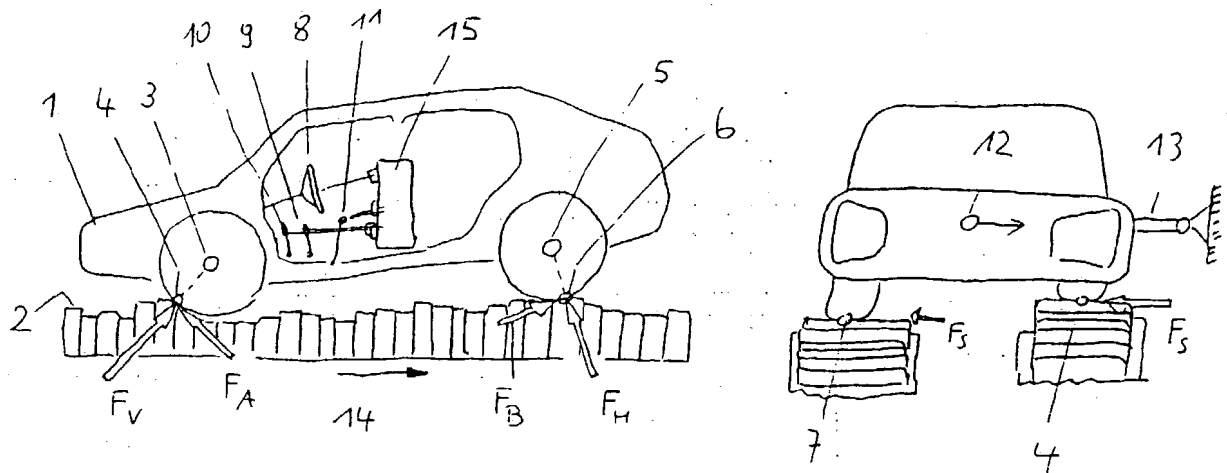


Fig. 2

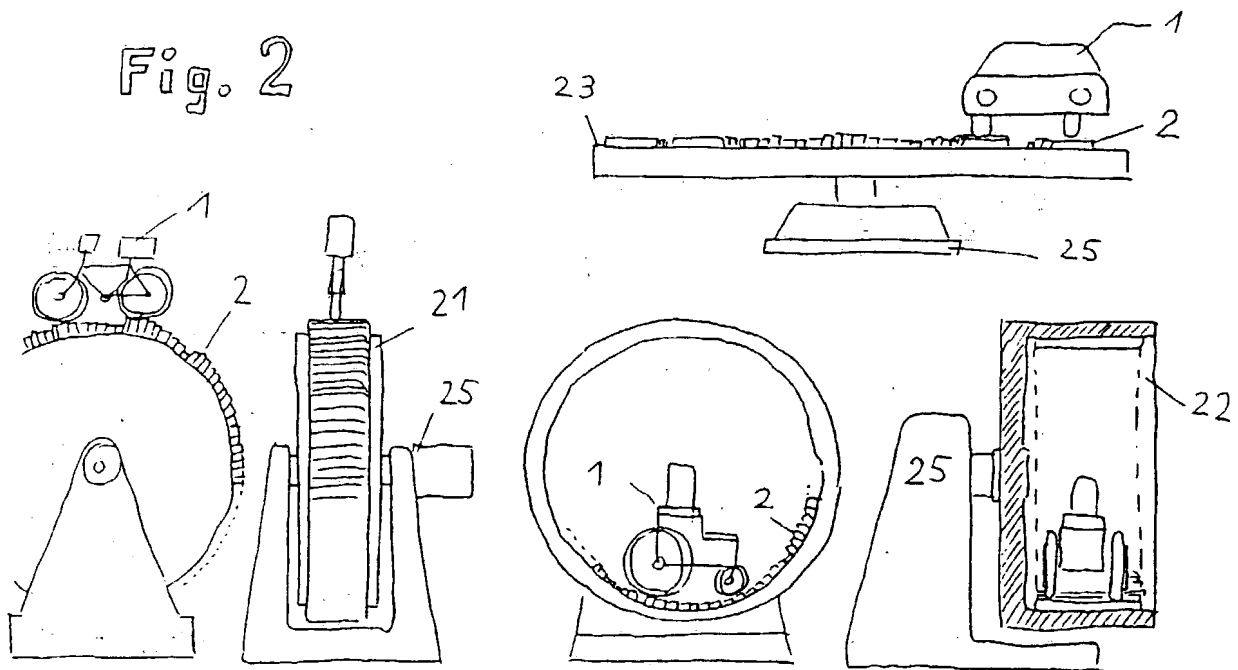




Fig. 3

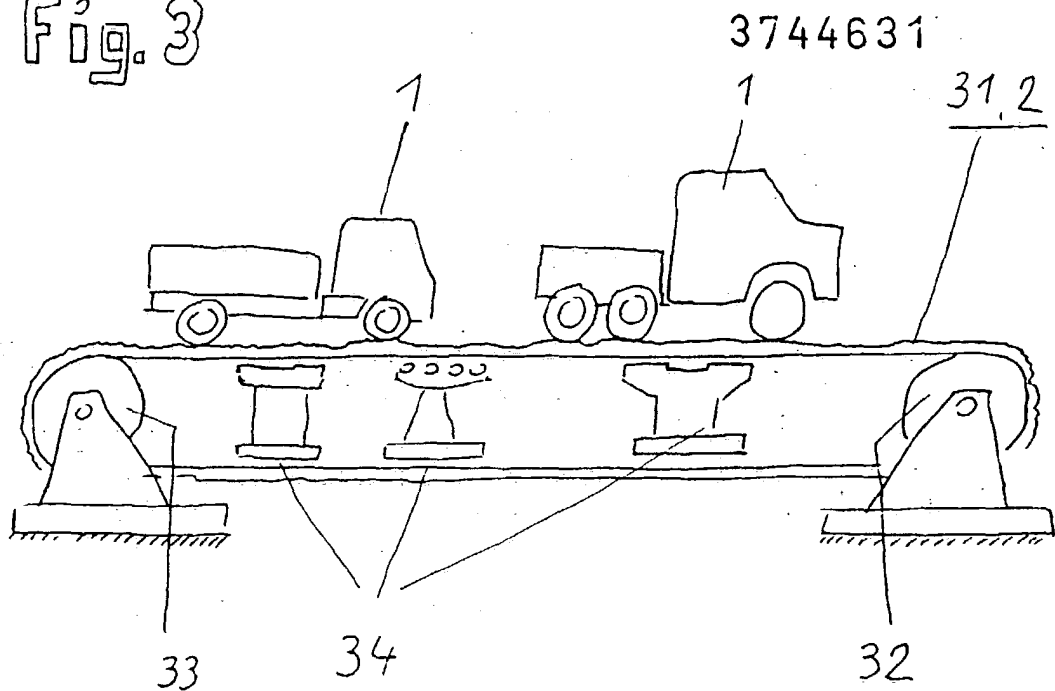


Fig. 4

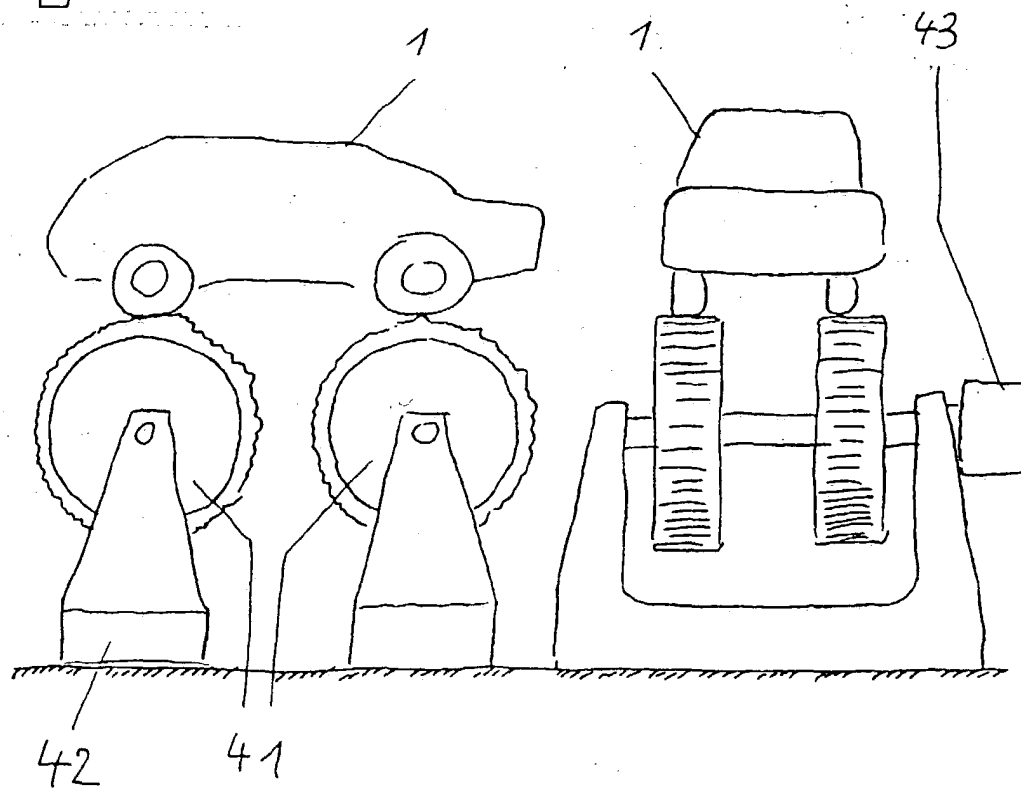


Fig. 5

3744631

23

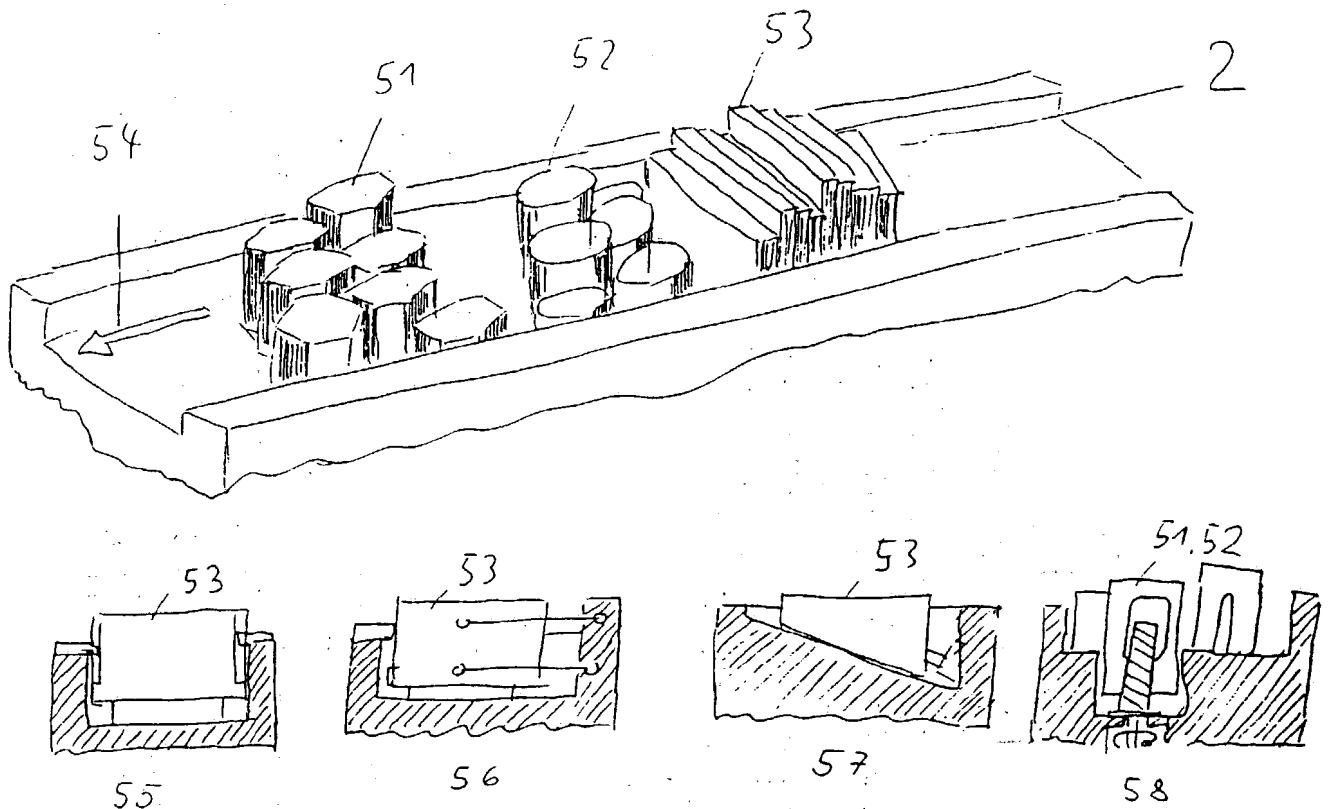


Fig. 6

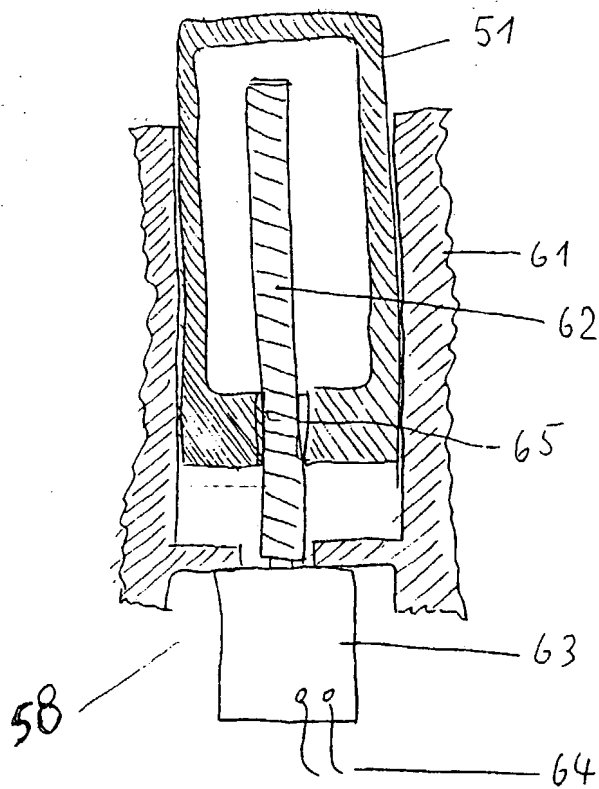
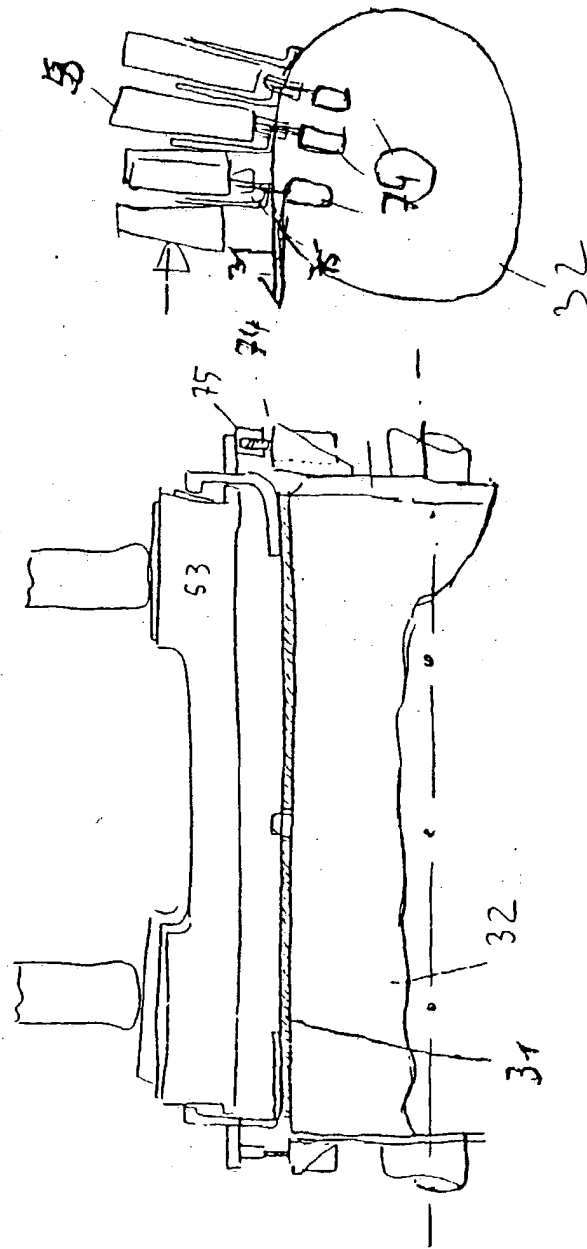
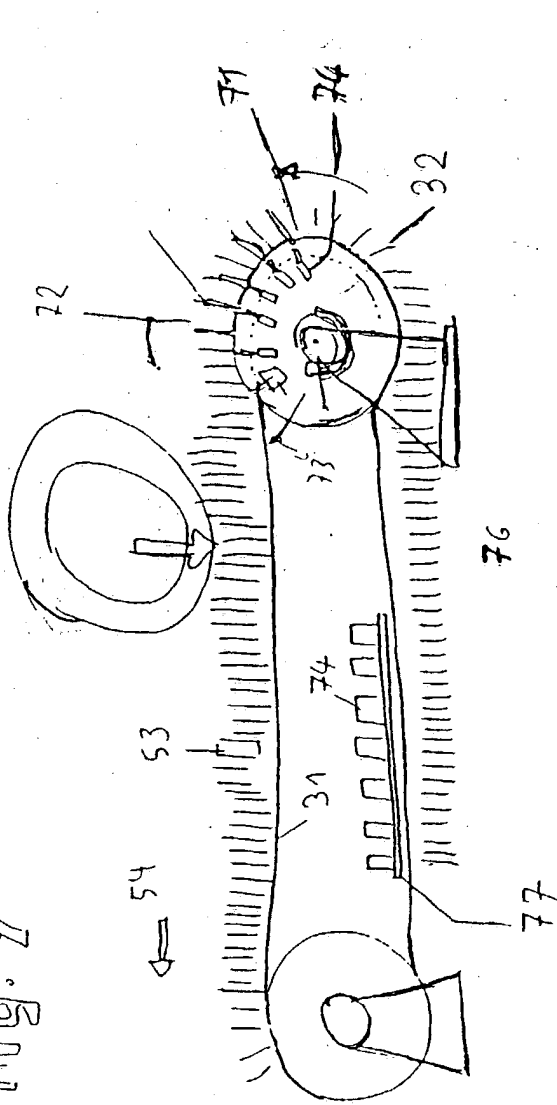


Fig. 7



NACHGEREICHT

3744631

24

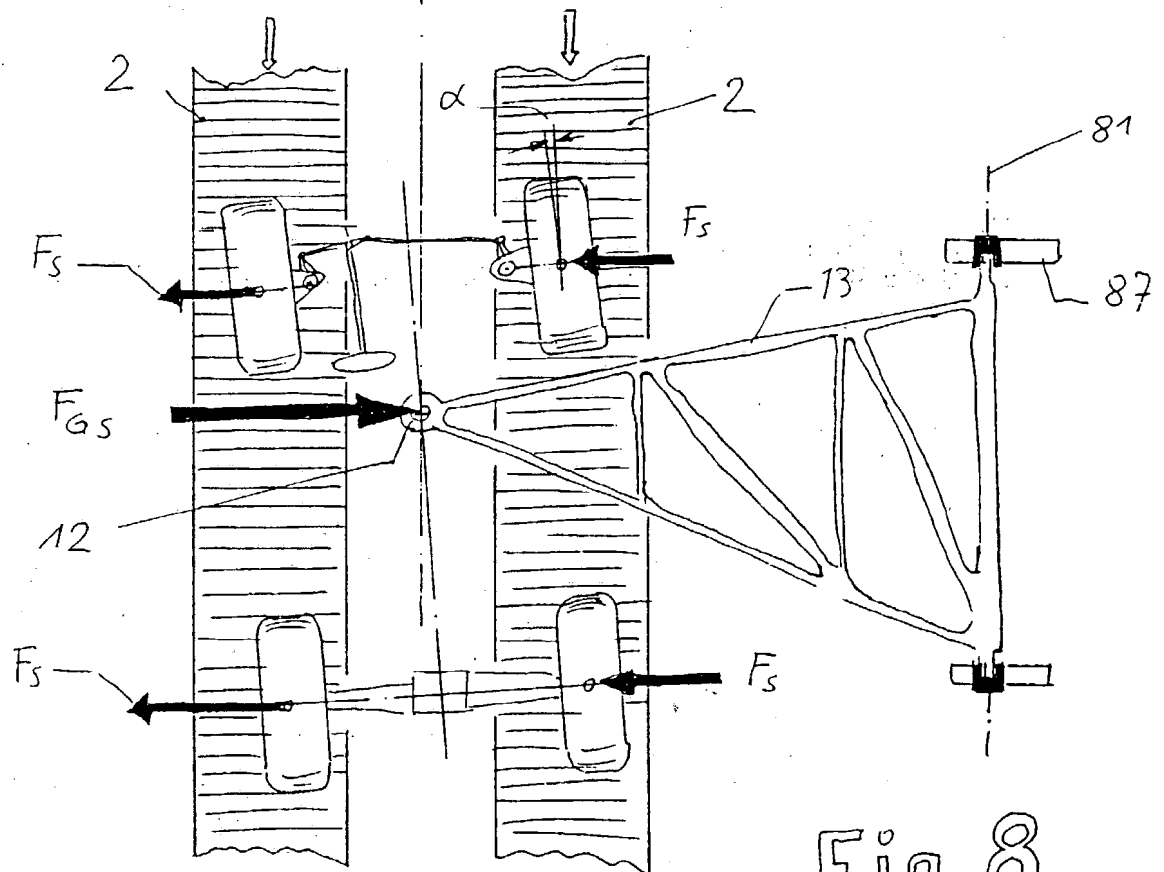
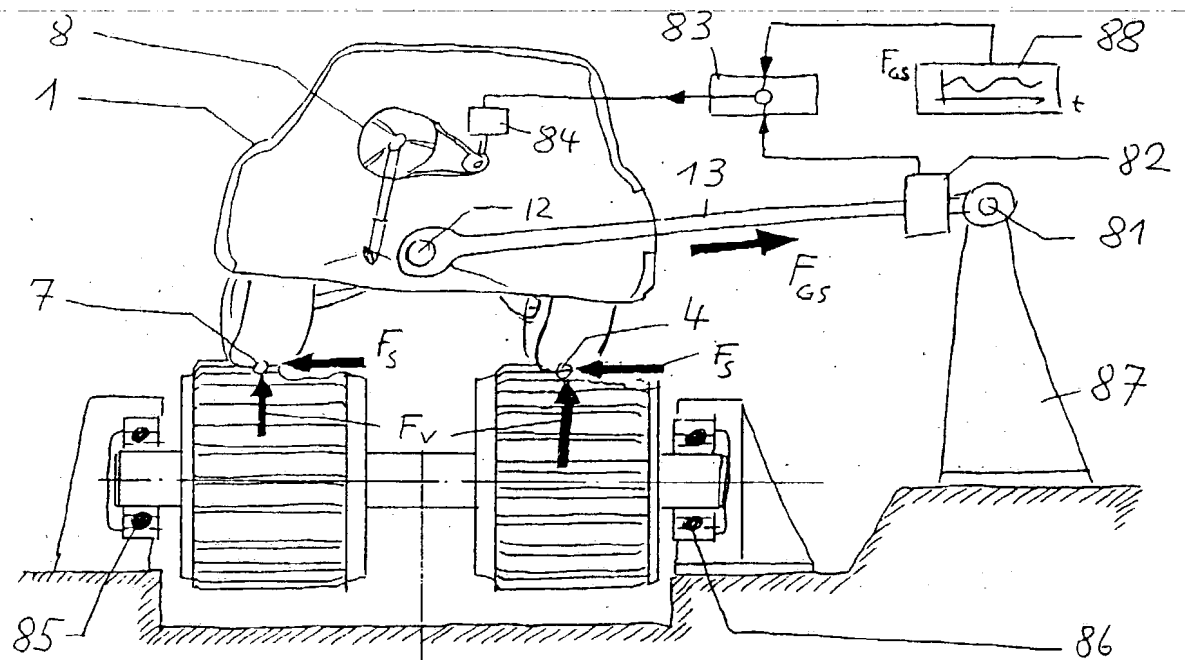


Fig. 9

3744631

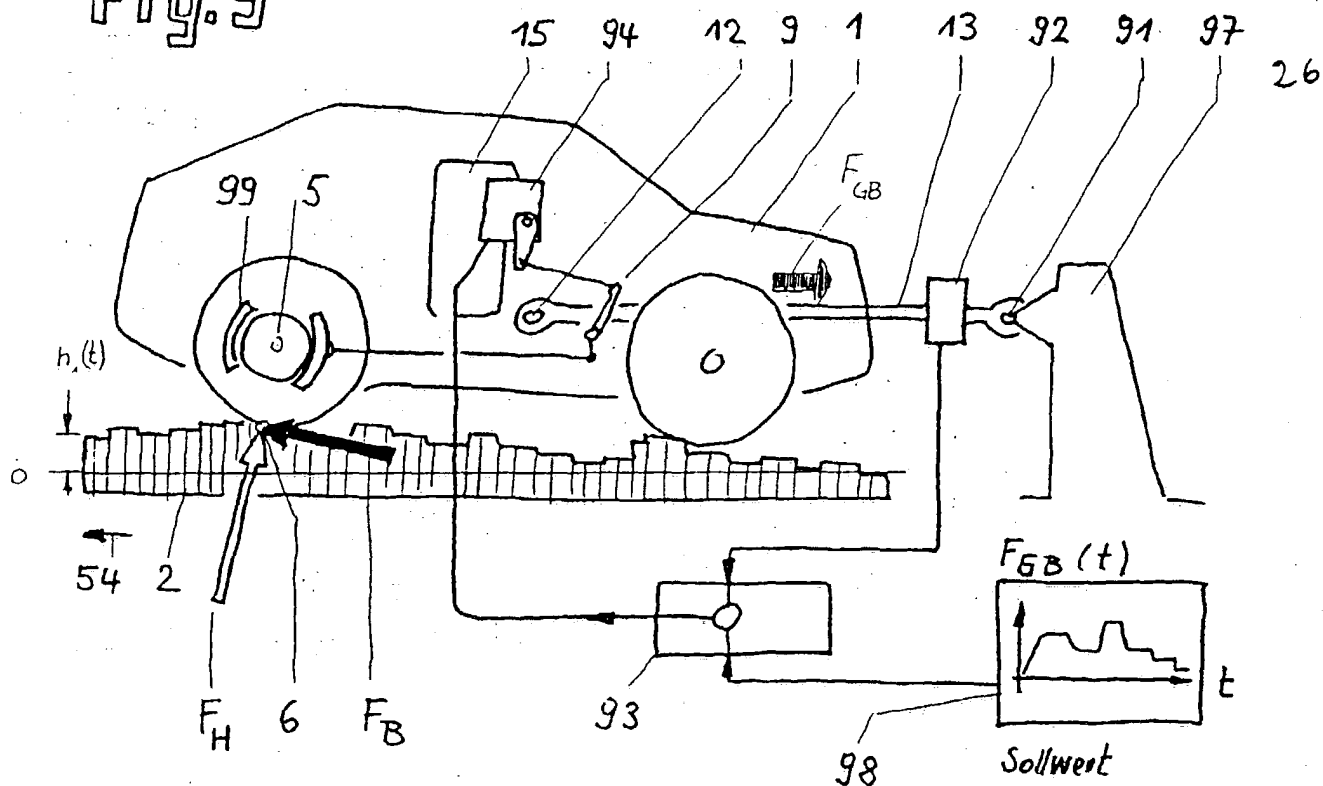


Fig. 10

